

ANÁLISIS DE BALUNS ACTIVOS MMIC EN TECNOLOGÍA HEMT

Javier Reina-Tosina, Carlos Crespo Cadenas

Dept. Ingeniería Electrónica. Area de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla

Camino de los Descubrimientos s/n., 41092 Sevilla, Spain.

jreina@cica.es

Abstract— In this paper a Volterra series approach is followed to analyze active baluns with structures based on a differential pair. Closed form expressions were obtained for the evaluation of IMD and criteria for the selection of design parameters were proposed. Results have been compared with alternative non-linear circuit analysis methods, showing a good correspondence.

I. INTRODUCCIÓN

Entre los circuitos activos de microondas las estructuras balanceadas resultan muy atractivas cuando la distorsión por intermodulación (IMD) desempeña un papel crítico, debido a que se cancelan todos los armónicos pares de la entrada. Por este motivo, la aplicación de baluns activos ha sido ampliamente descrita, sobre todo en conexión con mezcladores doblemente balanceados (DBM) [1]-[2].

Una de las estructuras más populares para el diseño de baluns activos es el par diferencial. Algunos criterios para el diseño de amplificadores diferenciales han sido publicados en tecnología MESFET mediante procedimientos gráficos derivados de curvas obtenidas a partir de medidas del dispositivo activo [3]. Sin embargo este método es incapaz de predecir la IMD y requiere la disponibilidad de datos de medida que generalmente no están accesibles.

Son muy escasas las referencias que se pueden citar sobre el análisis no lineal de estructuras balanceadas. Las series de Volterra han constituido una herramienta útil para el análisis no lineal de amplificadores y mezcladores de un solo dispositivo [4]. Debido a que permiten la obtención de expresiones cerradas, se han aplicado en esta comunicación al análisis de baluns activos. Mediante un modelo apropiado de los dispositivos activos se han obtenido parámetros de diseño y predicción de la IMD. Los resultados teóricos han sido comparados con medidas experimentales de un MDB MMIC en tecnología HEMT.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este trabajo se considera el análisis de los baluns para la entrada de OL y de salida de un MDB. Ambos diseños están basados en un par diferencial, y en el caso del balun de salida, éste se conecta en cascada con un buffer realizado mediante un seguidor de fuente.

En la Fig. 1 se muestra la estructura de un par diferencial realizado en tecnología HEMT. La no linealidad dominante en MESFET de GaAs y HEMT viene dada por la fuente de corriente controlada $I_d(V_{gs}, V_{ds})$, que se puede descomponer en tres términos: una fuente de corriente dependiente de v_g , un segundo término de corriente a través de una conductancia lineal g_d , y un tercer término de corriente

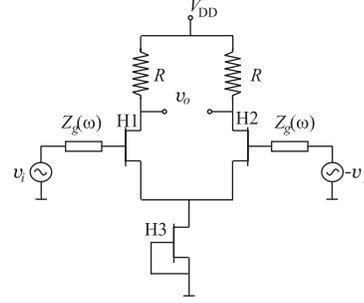


Fig. 1. Par diferencial con transistores HEMT

a través de una conductancia no lineal dependiente de v_g que contempla los términos cruzados. En función de los parámetros del circuito y del modelo no lineal indicado se pueden determinar las funciones de transferencia de orden n . La función de transferencia lineal se expresa como:

$$H_1(\omega) = -\frac{g_m - j\omega C_{gd}}{|\mathbf{Y}_d(\omega)|} Y_g(\omega) \quad (1)$$

donde \mathbf{Y}_d es la matriz de admitancias e $Y_g(\omega)$ la admitancia del generador. Mediante un desarrollo convencional en series de Volterra puede determinarse la función de transferencia no lineal de tercer orden;

$$H_3(\omega_1, \omega_2, \omega_3) = -\frac{Y_g(\omega'') + j\omega''(C_{gs} + C_{gd})}{|\mathbf{Y}_d(\omega'')|} F_3[i_{NL}] \quad (2)$$

siendo F_3 los coeficientes espectrales de las corrientes no lineales de orden 3 a la frecuencia $\omega'' = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3$:

$$\begin{aligned} F_3[i_{NL}] = & g_{m3} H_{g1}(\omega_1) H_{g1}(\omega_2) H_{g1}(\omega_3) + \\ & + 2g_{m2} \overline{H_{g1}(\omega_1) H_{g2}(\omega_2, \omega_3)} + \\ & + g_{21} \overline{H_{g1}(\omega_1) H_{g1}(\omega_2) H_1(\omega_3)} + \\ & + g_{11} \left[\overline{H_{g1}(\omega_1) H_2(\omega_2, \omega_3)} + \overline{H_{g2}(\omega_1, \omega_2) H_1(\omega_3)} \right] \quad (3) \end{aligned}$$

En el caso del seguidor de fuente la funciones de transferencia no lineales se expresan a través de la nueva matriz de admitancias \mathbf{Y}_{sf} . Para órdenes 1 y 3 se tiene:

$$H_1(\omega) = \frac{Y_g(\omega)}{|\mathbf{Y}_{sf}(\omega)|} [g_m + j\omega C_{gs}] \quad (4)$$

$$H_3(\omega_1, \omega_2, \omega_3) = \frac{Y_g(\omega'') + j\omega'' C_{gs}}{|\mathbf{Y}_{sf}(\omega'')|} F_3[i_{NL}] \quad (5)$$

El análisis no lineal del amplificador diferencial en cascada con el seguidor de fuente se puede realizar a partir de las funciones de transferencia no lineales (2) y (5) calculadas individualmente [5]. De esta manera se puede obtener una completa caracterización del balun de salida.

III. RESULTADOS

A partir de las expresiones halladas se ha procedido a la caracterización del dispositivo activo (HEMT) a partir

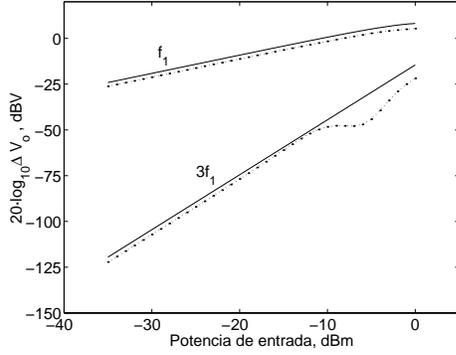


Fig. 2. Salida diferencial del balun OL a 20 GHz.

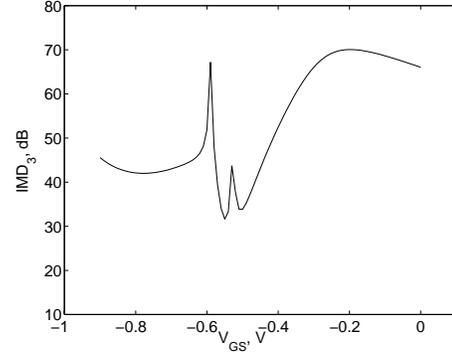


Fig. 4. Rechazo a la intermodulación en función de V_{GS}

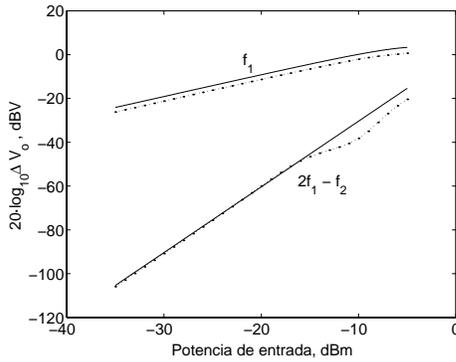


Fig. 3. Intermodulación con dos tonos a 20 GHz

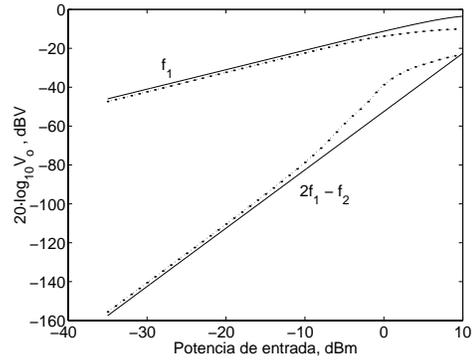


Fig. 5. IMD_3 del balun de salida a 5 GHz

de los modelos de la foundry para la determinación de las corrientes no lineales. Dichos valores han sido utilizados para el análisis de los baluns de un MDB MMIC, basado en la célula de Gilbert, cuyas medidas han sido presentadas en [6].

En la Fig. 2 se muestra la salida diferencial a 20 GHz del balun de OL, que utiliza transistores de anchura $2 \times 30 \mu m$, frente a la potencia de entrada. Los resultados se comparan con la simulación obtenida mediante el método de balance armónico, pudiéndose apreciar una buena correspondencia con el método propuesto. En la Fig. 3 se representan la respuesta fundamental y de tercer orden para intermodulación a 20 GHz con dos tonos separados 1 MHz. Para tener un criterio de diseño se trató de localizar el punto de polarización adecuado para alcanzar una mínima IMD. En la Fig. 4 se representa la variación del rechazo a la intermodulación con la tensión V_{GS} de los transistores, pudiéndose apreciar un mínimo en torno a $-0.3 V$.

Finalmente, en la Fig. 5 se comparan las simulaciones de IMD_3 del balun de salida con dos tonos a una frecuencia de 5 GHz, incluyendo el seguidor de fuente. Mediante comparación con medidas experimentales, se concluyó que la no linealidad dominante del MMIC completo estaba asociada precisamente al buffer de salida.

IV. CONCLUSIONES

El análisis por series de Volterra es un método apropiado para la evaluación de circuitos no lineales. En este trabajo se ha aplicado a baluns activos basados en un par

diferencial. Se han obtenido expresiones cerradas para las funciones de transferencia no lineales y los resultados se han comparado con otros métodos de análisis, mostrando una buena correspondencia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado a través del proyecto TIC-96-0724-C06-06 de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.

REFERENCES

- [1] H. Koizumi, S. Nagata, K. Tateoka, *et al*, "A GaAs single balanced mixer MMIC with built-in active balun for personal communication systems", *Proc. IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symp.*, pp. 77-80, 1995.
- [2] Chang-Soek Lee, Min-Gun Kim, Joe-Jin Lee, *et al*, "A low noise amplifier for a multi-band and multi-mode handset" *Proc. IEEE RFIC Symp.*, pp. 47-50, 1998.
- [3] J. I. Alonso and J. C. Sánchez, "A Simple Technique for the Design of GaAs MMIC Double Side-Band Modulators Based on the Gilbert Cell," *Microwave and Optical Tech. Letters*, Vol. 8, No. 2, pp. 93-97, Feb. 1995.
- [4] R. A. Minasian, "Intermodulation Distortion Analysis of MES-FET Amplifiers Using the Volterra Series Representation", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-28, No. 1, pp. 1-8, Ene. 1980.
- [5] J. J. Bussgang, L. Ehrman and J. W. Graham, "Analysis of Non-linear Systems with Multiple Inputs," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 62, No. 8, pp. 1088-1119, Aug. 1974.
- [6] J. Reina-Tosina, C. Crespo, J. I. Alonso, F. Pérez, "GaAs MMIC Mixer Based on the Gilbert Cell with HEMTs Biased in the Sub-threshold Region", *Microwave and Optical Tech. Letters*, Vol. 28, No. 4, pp. 241-244, Feb. 2001.